

# Toy Digital Twin or RL for Simple Model of Deep Controller

Gremyachikh Leonid

# Проект YADRO [1]

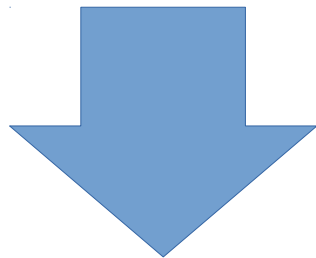
Совместный проект ООО YADRO(КНС Групп), ВШЭ и СПбПУ по предсказанию сбоев в системе хранения данных Tatlin

- Одна из задач:
  - симуляция поведения СХД Tatlin и предсказание аномалий
- Подход к решению:
  - Использовать цифровой двойник (ЦД)
  - Использовать ИИ



# Цифровой двойник [1]

Идея ЦД: построить неплохую модель системы и попросить ИИ подкрутить у неё ручки



- Интерпретируемость
- Работает без данных / с малыми данными

# ЦД для YADRO [1]

- DEBS(discrete event-based SAN simulator) – дискретно-событийный симулятор СХД Tatlin.
- DeepController – ИИ(нейронная сеть), которая обучена для управления симуляторов путём кручения «ручек», i.e. управляемых параметров.



# ЦД и RL

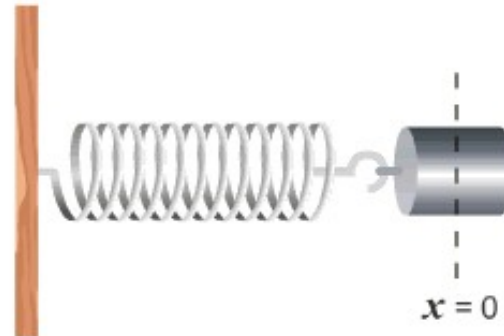
- Хочется обучить NN с помощью RL
- Почему RL?
  - Supervised learning не применим, так как симулятор недифференцируемый и через него нельзя пробрасывать градиенты чтобы напрямую оптимизировать метрики качества.
  - Идея RL отлично ложится под задачу оптимизации метрик т.к. не требует дифференцируемости среды
- А заработает ли RL для ЦД?
  - Отличный вопрос! Проверим на игрушечном примере (Toy Digital Twin)

# Toy Digital Twin

- Маятник 1 ~ Yadro СХД
  - воздействие “нагрузки”  
 $i(t)$  известно
- Маятник 2 ~ Gotatlin
  - воздействие “нагрузки”  
 $i(t)$  неизвестно
  - Несколько регулируемых параметров

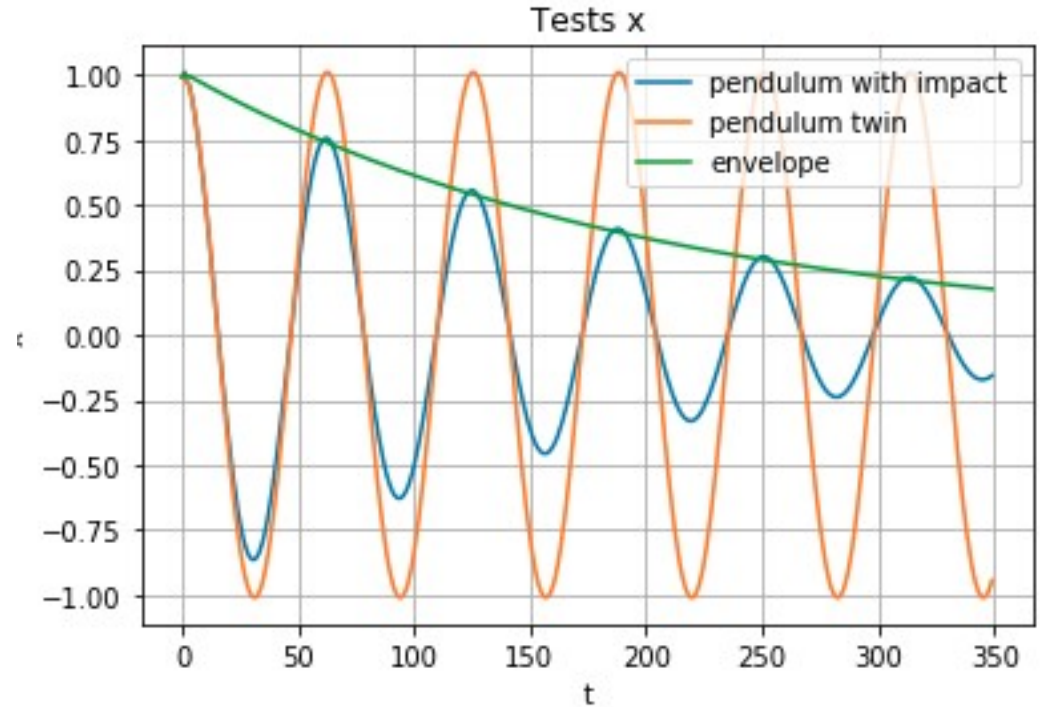
$$x_1(t) = B \cdot \cos(\Omega t - \theta) \cdot i(t)$$

$$x_2(t) = \hat{B} \cdot \cos(\hat{\Omega} t - \hat{\theta})$$



# Toy Digital Twin

- Маятник 1 ~ Yadro СХД
  - воздействие “нагрузки”  $i(t)$  известно
- Маятник 2 ~ Gotatlin
  - воздействие “нагрузки”  $i(t)$  неизвестно
  - Несколько регулируемых параметров



# Toy Digital Twin

- Маятник 1

$$\underline{x_1(t) = B \cdot \cos(\Omega t - \theta) \cdot i(t)}$$

$$i(t) = A \exp(-td)$$

d - damping ratio

A - amplitude

- Маятник 2 (ЦД)

$$\underline{x_2(t) = \hat{B} \cdot \cos(\hat{\Omega}t - \hat{\theta})}$$

$$\hat{B} = \hat{B}(m, \delta, \hat{\Omega}) = \frac{F_0/m}{\sqrt{((k/m)^2 - \hat{\Omega}^2)^2 + 4\delta^2\hat{\Omega}^2}}$$

$$\hat{\theta} = \hat{\theta}(m, \delta, \hat{\Omega}) = \frac{2\delta\hat{\Omega}}{k/m - \hat{\Omega}^2}$$



# Toy Digital Twin

- Маятник 1

$$\underline{x_1(t) = B \cdot \cos(\Omega t - \theta) \cdot i(t)}$$

$$i(t) = A \exp(-td)$$

d - damping ratio

A - amplitude

- Маятник 2 (ЦД)

$$\underline{x_2(t) = \hat{B} \cdot \cos(\hat{\Omega}t - \hat{\theta})}$$

$$\hat{B} = \hat{B}(m, \delta, \hat{\Omega}) = \frac{F_0/m}{\sqrt{((k/m)^2 - \hat{\Omega}^2)^2 + 4\delta^2\hat{\Omega}^2}}$$
$$\hat{\theta} = \hat{\theta}(m, \delta, \hat{\Omega}) = \frac{2\delta\hat{\Omega}}{k/m - \hat{\Omega}^2}$$

NN

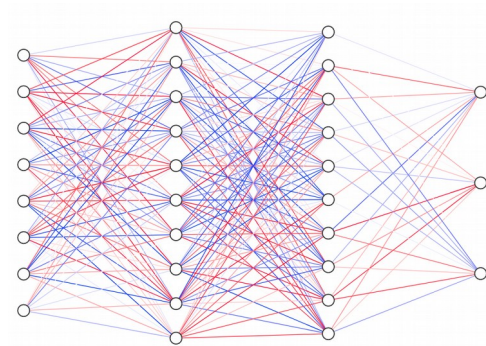


# DL

input

NN

output



8 → 32 → 32 → 3



$m, \delta, \hat{\Omega}$



$x_2(t)$

- N предыдущих координат
  - Полученных NN
  - $N = 3$
- Гиперпараметры воздействия
  - коэф затухания
  - амплитуда
- N предыдущих значений воздействия
  - $N = 3$

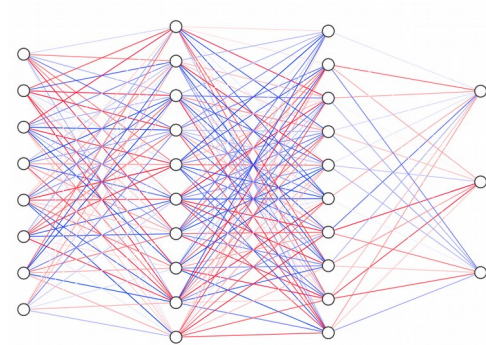
# RL

input

NN

output

- N предыдущих координат
  - Полученных NN
  - $N = 3$
- Гиперпараметры воздействия
  - коэф затухания
  - амплитуда
- N предыдущих значений воздействия
  - $N = 3$



8 → 32 → 32 → 3



$m, \delta, \hat{\Omega}$



$x_2(t)$

$MSE(x_1(t), x_2(t))$

observation

agent

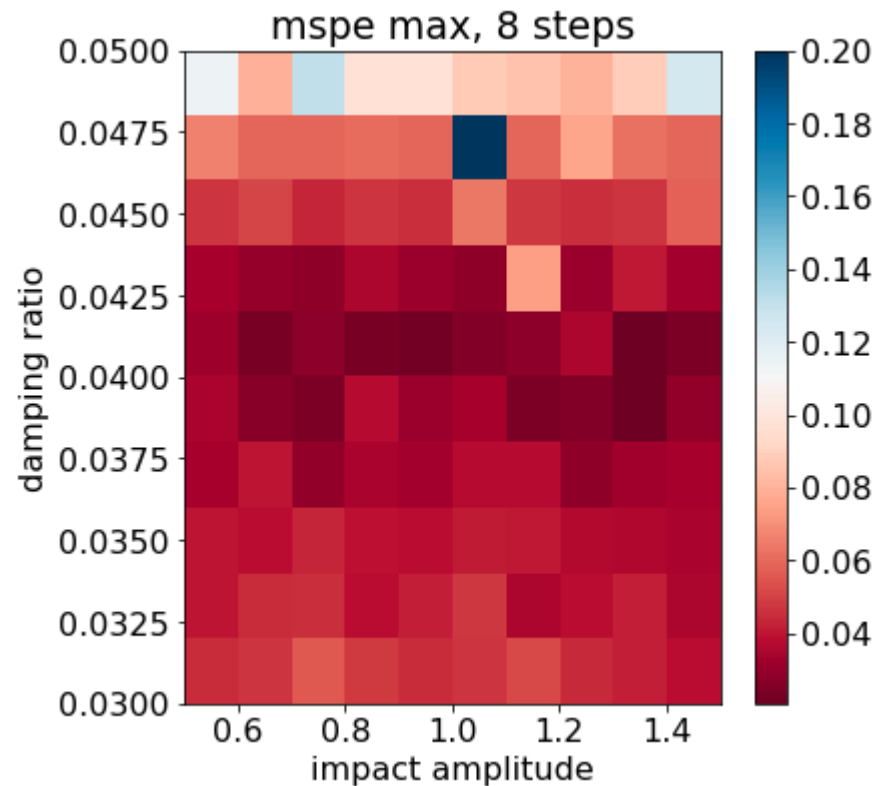
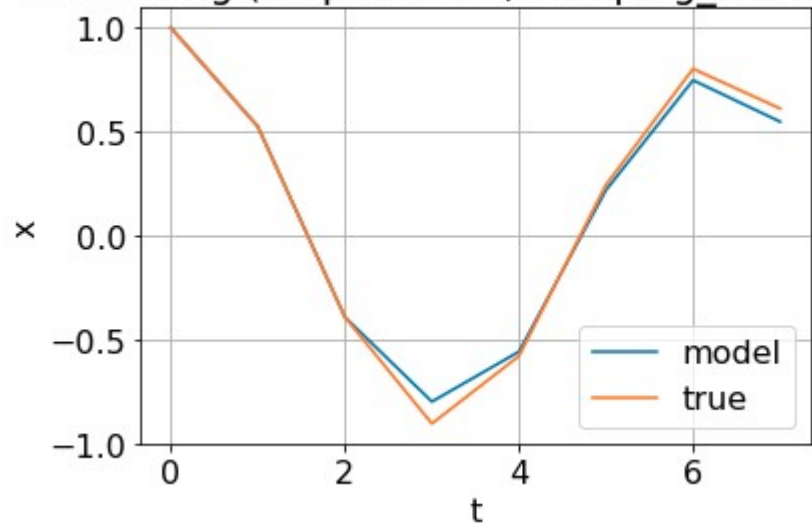
action

reward

# Results

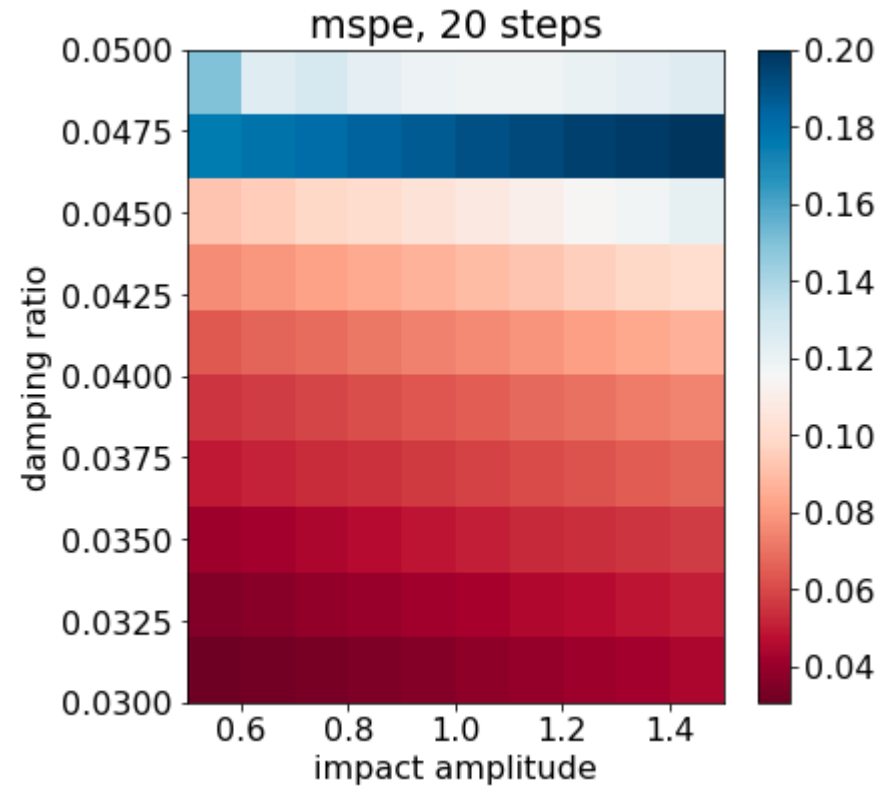
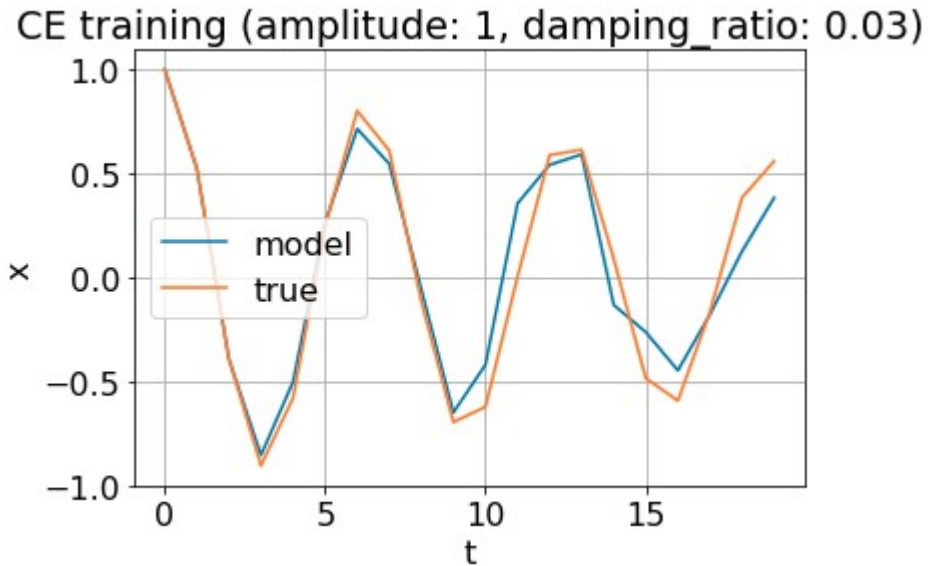
- $N_{\text{steps}} = 8$
- Cross Entropy method

CE training (amplitude: 1, damping\_ratio: 0.03)



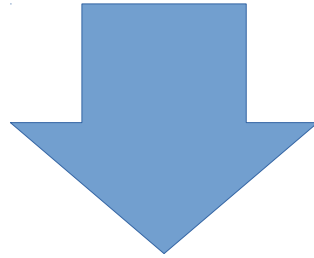
# Results

- $N_{\text{steps}} = 20$
- Cross Entropy method



# Conclusion

Результаты выглядят адекватно



RL потенциально применим для ЦД-подхода

# In process

- Gym-обертки
- Reward engineering
- Moar RL models
- Дифференцируемый симулятор

# Discussion

- Можем ли мы использовать Toy Digital Twin для выбора модели для обучения?
- Есть ли какие-то идеи как мы могли бы использовать Toy Digital Twin?
- Если планируем где-то рассказывать о Toy Digital Twin, можно обсудить физичность модели



# Ссылки

1. Цифровые двойники – презентация см чат
2. Механические колебания  
[https://mipt.ru/education/chair/physics/S\\_I/method/Meh\\_col.pdf](https://mipt.ru/education/chair/physics/S_I/method/Meh_col.pdf)
3. Tuning hybrid distributed storage system digital twins by reinforcement learning <https://publications.hse.ru/en/articles/238623775>
4. Результаты и код [https://github.com/bamasa/rl\\_pendulum\\_predict](https://github.com/bamasa/rl_pendulum_predict)
5. Cross-entropy method  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-entropy\\_method](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-entropy_method)